

بررسی عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت و سورگوم در دو شرایط آبیاری و کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپر جاذب

حمید نجفی نژاد^۱، زین العابدین طهماسبی سروستانی^{۲*} و سیدعلی محمد مدرس ثانوی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۲۸)

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت و سورگوم در شرایط تنش خشکی و کاربرد پسماندهای (بقایای) جو، زئولیت و پلیمر سوپر جاذب آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط کمترین خاک‌ورزی به مدت دو سال (۱۳۹۱-۱۳۹۲) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جوپار در کرمان انجام شد. شرایط (رژیم) آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول (نرمال) و تنش خشکی (به ترتیب آبیاری براساس ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A) و تیمارهای نوع گیاه شامل ذرت و سورگوم به صورت فاکتوریل و به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپر جاذب در پنج سطح به عنوان عامل فرعی به شرح زیر بودند: الف) ۴/۵ تن پسماندها + ۱۰ تن زئولیت در هکتار (ZR)، ب) ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپر جاذب در هکتار (SR)، ج) ۴/۵ تن پسماندها + ۵ تن زئولیت + ۳۰ کیلوگرم سوپر جاذب در هکتار (ZSR)، د) ۴/۵ تن پسماندها در هکتار (R)، ه) شاهد (C). براساس نتایج به دست آمده تنش خشکی در هر دو گیاه عملکرد علوفه و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (فتوسیستم II) را به طور معنی‌داری کاهش داد. میزان علوفه تر ذرت و سورگوم (چین اول) به ترتیب ۶۲/۸ و ۴۹/۳ تن در هکتار بود که برتری ذرت در نود روز اول فصل رشد را نشان داد. تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت به همراه پسماندها بیشترین عملکرد علوفه و تیمار شاهد کمترین عملکرد علوفه، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری و محتوای رطوبت خاک را داشت. در اغلب صفات مورد بررسی تفاوتی بین تیمار کاربرد پسماندها به تنهایی با تیمارهای ترکیبی پسماندها با زئولیت و پلیمر سوپر جاذب وجود نداشت. براساس نتایج این بررسی برای کشت دوم منطقه معتدل در شرایط کمترین خاک‌ورزی، کشت ذرت و همچنین کاربرد ۱۰ تن زئولیت و ۴/۵ تن پسماندها در هکتار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پسماندها، پلیمر سوپر جاذب، درخشندگی سبزینه، زئولیت، ذرت، سورگوم، عملکرد.

مقدمه

کم‌آبی همراه با افزایش دمای کره زمین و کاهش بارندگی ناشی از پدیده تغییر اقلیم تشدید شده است (Shao et al., 2009). تنش خشکی ناشی از کم‌آبی،

در سال‌های اخیر، منابع آب قابل استفاده برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی کاهش یافته و بحران

داشته باشد (Nazari *et al.*, 2010). در بررسی محتوی نسبی آب و شاخص سبزینه برگ (SPAD) ذرت با کاربرد ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرچاذب در هکتار افزایش یافته است (Mao *et al.*, 2011). در تحقیقی بر روی سورگوم علوفه‌ای تنش خشکی شاخص سبزینه برگ را کاهش داده است، اما کاربرد ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرچاذب در شرایط تنش شاخص سبزینه برگ و ماده خشک سورگوم را افزایش داده است (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012). ذرت و سورگوم به‌عنوان گیاهان دومانظوره (علوفه‌ای و دانه‌ای) به دلیل عملکرد بالا و سازگاری به شرایط اقلیمی ایران، نقش بسیار مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز کشور ایفا می‌کنند. اما کم‌آبی، مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید و توسعه کشت این گیاهان است (Khalero *et al.*, 2012; Fazeli Rostampour *et al.*, 2010). از این‌رو بررسی تغییرات فیزیولوژیک گیاه در واکنش به تنش خشکی و کاربرد مواد افزودنی به خاک برای تعدیل اثرگذاری‌های تنش خشکی بسیار بااهمیت است. گزارش شده است به دلیل رابطه نزدیکی که بین محتوی سبزینه گیاه و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه با تثبیت و تبادل دی‌اکسیدکربن در گیاه وجود دارد، این مشخصه (پارامتر)ها می‌توانند برآورد خوبی از تأثیر تنش‌های محیطی روی رشد گیاه باشند (Araus *et al.*, 1998). لذا برای ارزیابی اثرگذاری‌های تنش خشکی و مواد افزودنی به خاک در شرایط کم‌آبی، اندازه‌گیری سبزینه و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه می‌تواند برآورد مناسبی از وضعیت رشد گیاه را ارائه دهد. با توجه به موارد بالا، هدف این تحقیق بررسی عملکرد و تغییرات مشخصه‌های درخشندگی سبزینه و سبزینه برگ دو گیاه ذرت و سورگوم تحت تنش خشکی و کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرچاذب و همچنین مقایسه دو گیاه با یکدیگر در کشت دوم منطقه معتدل و در شرایط کمینه خاک‌ورزی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال (۱۳۹۱-۱۳۹۲) در ایستگاه تحقیقاتی جوپار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۴

مهم‌ترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را به بیش از هر تنش دیگری کاهش می‌دهد. خشکی با تغییر در مؤلفه‌های پرتوافشانی یا درخشندگی سبزینه (فلورسانس کلروفیل)، میزان رنگ‌دانه‌ها، روابط آب یاخته و اختلال در فرایند نورساخت (فتوسنتز) در نهایت رشد و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Paknejad *et al.*, 2007). بنابراین برای اعمال مدیریت بهینه بهره‌وری از قابلیت و ظرفیت (پتانسیل) گیاه، شناخت تغییرات فیزیولوژیک و واکنش‌های بیوشیمیایی تحت تنش خشکی ضروری است (Anjum *et al.*, 2011). در آزمایشی بر روی گندم کاهش محتوای سبزینه، درخشندگی بیشینه (F_m)، درخشندگی متغیر (F_v)، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) و عدم تغییر درخشندگی اولیه (F_0) تحت تنش خشکی گزارش شده است (Paknejad *et al.*, 2007). در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک موادی مانند زئولیت، پلیمر سوپرچاذب و پسماندهای گیاه می‌توانند با افزایش ظرفیت جذب و نگهداری رطوبت و عناصر غذایی در خاک و آزادسازی متناسب با نیاز گیاه از آسیب وارده به دستگاه نورساختی در شرایط تنش جلوگیری کنند (Wicks *et al.*, 1994; Polat *et al.*, 2004; Mao *et al.*, 2011). انجام‌گرفته در زمینه تأثیر استفاده از پسماندهای گیاه در سطح خاک، افزایش عملکرد و کاهش اثرگذاری‌های تنش خشکی بیشتر به‌واسطه نگهداری رطوبت و کاهش تبخیر از خاک بیان شده است (Wicks *et al.*, 1994). زئولیت‌ها بیش از ۶۰ درصد وزن خود آب جذب می‌کنند و به‌واسطه روزه‌های زیاد، توانایی جذب و نگهداری طولانی‌مدت آب و عناصر غذایی برای دوره‌های خشکی را داشته و به‌آسانی متناسب با نیاز گیاه، آب و عناصر غذایی جذب‌شده را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Polat *et al.*, 2004). در پژوهشی کاربرد ۵ تن در هکتار زئولیت در شرایط تنش کم‌آبی، منجر به بهبود رشد گلرنگ و افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری شده است (Mahdavi *et al.*, 2011). کاربرد سوپرچاذب در کشاورزی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب رطوبت خاک و کاهش اثرگذاری‌های نامطلوب تنش خشکی

ب) ۴/۵ تن پسماندهای جو+۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرچاذب در هکتار (SR)، ج) ۴/۵ تن پسماندهای جو + ۵ تن زئولیت + ۳۰ کیلوگرم سوپرچاذب در هکتار (ZSR)، د) ۴/۵ تن پسماندهای جو در هکتار (R)، ه) تیمار شاهد، بدون کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و سوپرچاذب (C). در این تحقیق، رقم سینگل کراس ۷۰۴ ذرت و رقم پگاه سورگوم مورد استفاده قرار گرفت. تاریخ کاشت آزمایش در سال اول، ۱۱ خرداد و در سال دوم، ۱۲ خرداد بود. پلیمر سوپرچاذب مورد استفاده از نوع A200 ساخت شرکت نانوب با پروانه پژوهشکده شیمی و پلیمر ایران و زئولیت مورد استفاده تولید شرکت افرازند بود. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش به همراه نتایج تجزیه زئولیت و پلیمر سوپرچاذب در جدول ۱ ارائه شده است.

دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۴۹ متری از سطح دریا انجام شد. آزمایش در هر دو سال در یک قطعه زمین ثابت به صورت فاکتوریل اسپیلت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط کشت دوم منطقه معتدل اجرا شد. شرایط آبیاری در دو سطح شامل تیمار آبیاری معمول و تنش خشکی به ترتیب آبیاری براساس ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از طشت تبخیر کلاس A و تیمارهای نوع گیاه در دو سطح شامل ذرت و سورگوم به صورت فاکتوریل و به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرچاذب در پنج سطح به عنوان عامل فرعی به شرح زیر بودند: الف) ۴/۵ تن پسماندهای جو + ۱۰ تن زئولیت در هکتار (ZR)،

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)، پلیمر سوپرچاذب و زئولیت

مشخصات خاک	نتایج تجزیه خاک		پلیمر سوپرچاذب (A200)	زئولیت
	۱۳۹۱	۱۳۹۲		
بافت خاک	لومی	لومی شنی	شکل و رنگ	SiO ₂ (درصد)
	شنی		گرانول سفید شیری	۶۸
رطوبت در ظرفیت مزرعه (درصد) F.C	۱۹/۲	۱۹/۲	اندازه (mm)	Al ₂ O ₃ (درصد)
رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (درصد) P.W.P	۷/۸	۷/۸	محتوی رطوبت (درصد)	K ₂ O (درصد)
وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۱/۴۱	۱/۴۱	تراکم (g/cm ³)	Na ₂ O (درصد)
کربن آلی (درصد)	۰/۴۸	۰/۵	pH	Ca ₂ O (درصد)
فسفر (mg/Kg)	۸	۹/۷	جذب آب در محلول کلرید سدیم ۹ درصد (g/g)	P ₂ O ₅ (درصد)
پتاسیم (mg/Kg)	۲۰۸	۲۲۴	میزان جذب آب مقطر (g/g)	Fe (mg/Kg)
pH	۷/۹	۷/۹	زمان دوام در خاک (سال)	Cd (mg/Kg)
هدایت الکتریکی (dS/m)	۱/۲	۱/۳	-	C.E.C(meq/100g)

به طول ۹ متر بود. پلیمر سوپرچاذب و زئولیت مورد نیاز برای هر تیمار، در کف شیاری به عمق ۱۸ سانتی‌متر که در وسط هر جویچه ایجاد شده بود پس از پخش یکنواخت با خاک پوشانده شد. براساس تحقیقات صورت گرفته دوام پلیمرهای سوپرچاذب در خاک به طور

این آزمایش طی دو سال در شرایط کمینه خاک‌ورزی بر روی بستر محصول سال پیش (جو) که به صورت دو ردیف در دو طرف جویچه‌های (فارو) ۷۰ سانتی‌متری کشت شده بود انجام گرفت. هر کرت فرعی دارای ۴ خط به فاصله ۷۰ سانتی‌متر از یکدیگر و

کرت بر روی لوله‌های پلی‌اتیلنی ۳ اینچی نصب شده بود. آب وارد کرت می‌شد. تعیین سبزینه برگ در هر دو گیاه به‌طور همزمان، (مرحله ده برگ سورگوم و دوازده برگ ذرت) با استفاده از دستگاه سبزینه‌سنج (SPAD) مدل Minolta 502 بر روی بالاترین برگ توسعه‌یافته کامل و پیش از آبیاری انجام شد.

تعیین مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه شامل درخشندگی اولیه (F_0)، درخشندگی بیشینه (F_m)، درخشندگی متغیر (F_v) و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) به‌طور همزمان برای هر دو گیاه (مرحله دوازده برگ سورگوم و مرحله شیری شدن دانه ذرت) پیش از آبیاری بر روی چهار بوته تصادفی در هر کرت (برای ذرت برگ بلال و برای سورگوم چهارمین برگ توسعه‌یافته کامل از بالا) با استفاده از دستگاه تنش‌سنج (استرس‌متر) PSM مدل iomonitor S.C.I.A.B, Umea, Sweden انجام شد. علوفه سورگوم هشتادوشش روز (مرحله دوازده تا سیزده برگ) با میانگین ارتفاع ۲۰۵ سانتی‌متر) و ذرت نود روز پس از کاشت (مرحله خمیری دانه) در سطحی معادل ۷ مترمربع برداشت شد و پس از توزین و اندازه‌گیری درصد رطوبت، عملکرد نهایی علوفه بر مبنای رطوبت ۷۹ درصد محاسبه شد. برای تعیین درصد رطوبت و درصد ماده خشک علوفه در زمان برداشت پنج بوته تصادفی از هر کرت بدون فاصله با دقت گرم توزین شد و پس از دو هفته خشک شدن، به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از توزین با استفاده از فرمول زیر رطوبت علوفه محاسبه شد.

$$FM = [(DW_1 - DW_2 / DW_1) \times 100] \%$$

درصد FM: درصد رطوبت علوفه، DW_1 : وزن تر نمونه، DW_2 : وزن خشک نمونه.

برای اندازه‌گیری محتوی رطوبتی خاک به‌منظور مقایسه تیمارهای ترکیبی پسماندها، ژئولیت و پلیمر سوپرجاذب، پیش از آبیاری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد. پس از تعیین وزن تر و خشک نمونه‌ها، درصد رطوبت خاک با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Fotuhi et al., 2008).

$$\text{رطوبت} = \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک مرطوب})}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100$$

(/.) خاک

میانگین سه تا پنج سال است (Tolstikh et al., 1992)، بنابراین با در نظر گرفتن ۳۳ درصد تجزیه در سال اول، در سال دوم اجرای طرح معادل ۳۳ درصد مصرف سال اول استفاده شد. میزان کود شیمیایی در سال اول ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن از منبع کود اوره، ۴۰ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۵ کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم در هکتار و در سال دوم ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. پیش از کاشت آزمایش از علف‌کش گراماکسون به میزان ۴ لیتر در هکتار برای خشکاندن علف‌های هرز موجود استفاده شد. ذرت با تراکم ۱۰۲۰۴۰ بوته در هکتار (فاصله‌های ۱۴×۷۰ سانتی‌متر) و سورگوم با تراکم ۱۷۸۵۷۰ بوته در هکتار (فاصله‌های ۸×۷۰ سانتی‌متر) کشت شد. تنش رطوبتی هفده روز پس از کاشت (مرحله سه تا چهار برگ سورگوم و چهار تا پنج برگ ذرت) اعمال شد و برای تعیین زمان آبیاری از قرائت روزانه تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق نفوذ ریشه و در زمان آبیاری با استفاده از دستگاه T.D.R (Time-Domain Reflectometry) مدل Trime-FM انجام شد و میزان آب مورد نیاز هر کرت در هر مرحله آبیاری براساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی در عمق نفوذ ریشه و براساس معادله‌های زیر محاسبه شد (Fotuhi et al., 2008).

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times d, I_g = I_n / e, V = I_g \times A$$

θ_{fc} : رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i : رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، d : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، I_n : عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e : بازده (راندمان) آبیاری (۷۵ درصد)، I_g : عمق ناخالص آب آبیاری (میلی‌متر)، A : مساحت کرت (مترمربع)، V : حجم آب مورد نیاز کرت (لیتر). عمق توسعه ریشه برای هر گیاه با حفر نیم‌رخ (پروفیل) پیش از هر مرحله آبیاری تعیین شد. برای بررسی عمق توسعه ریشه از ردیف‌های کناره کرت اصلی (دو ردیف در هر طرف کرت اصلی) استفاده شد. پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز هر کرت، با استفاده از کنتور حجمی ۲ اینچی تحت فشار که در مدخل ورود آب به

(Roznobet, 2004 &). درخشندگی اولیه (F_0) و درخشندگی بیشینه (F_m) اجزای تعیین‌کننده عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) بوده به‌گونه‌ای که افزایش درخشندگی اولیه و کاهش درخشندگی بیشینه مختل شدن فعالیت نظام‌نوری II و در نهایت کاهش کارایی فتوشیمیایی نظام‌نوری II را موجب می‌شود (Paknejad *et al.*, 2007). هر عاملی که تأثیر نامطلوب بر رشد گیاه بگذارد، می‌تواند از طریق اختلال در نقل و انتقال الکترون و آسیب به مراکز واکنش نظام‌نوری II موجب کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری شده و در پی آن با کاهش میزان تولید ATP و NADPH در واکنش‌های روشنایی نورساخت عملکرد گیاه را کاهش دهد (Bilger *at al.*, 1995). در این بررسی، کاهش نسبت F_v/F_m تحت تنش خشکی با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار نسبت F_v/F_m با عملکرد علوفه قابل توجیه خواهد بود (جدول ۵). همچنین همبستگی عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) II، درخشندگی متغیر (F_v) و درخشندگی بیشینه (F_m) با رطوبت خاک مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی منفی بین درخشندگی اولیه (F_0) با رطوبت خاک معنی‌دار نبود (جدول ۵). بنابراین می‌توان بیان کرد که تنش خشکی با اختلال در مسیر نقل و انتقال الکترون به دلیل تأمین نبودن آب مورد نیاز گیاه، منجر به کاهش مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه به‌غیر از درخشندگی اولیه (F_0) شده‌است. تنش شدید خشکی همراه با تنش گرمایی و نور زیاد می‌تواند مراکز واکنش نظام‌نوری را تخریب کرده و منجر به افزایش درخشندگی اولیه شود (Lu *et al.*, 2002; Paknejad *et al.*, 2007). بدون تغییر درخشندگی اولیه (F_0) تحت تنش خشکی در این بررسی بیانگر این‌است که تنش خیلی شدید نبوده که بتواند مراکز واکنش نظام‌نوری II را تخریب نماید. درخشندگی متغیر (F_v) بیانگر احیای پذیرنده الکترون^۳ (Q) است. احیای هرچه بیشتر پذیرنده الکترون (Q) بیانگر این‌است که در جریان انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیه آب در نظام‌نوری II اختلال ایجاد نشده و در نتیجه عملکرد کوانتومی نظام‌نوری افزایش یافته‌است، که همبستگی مثبت و معنی‌دار درخشندگی متغیر (F_v) با عملکرد علوفه تاییدکننده این مطلب است

برای بررسی روند رشد گیاه در طول فصل، نمونه‌برداری هفده روز پس از کاشت آغاز شد و در کل نه مرحله به فاصله چهارده روز یکبار و تا پایان مرحله رسیدن فیزیولوژیک ادامه یافت. در هر مرحله از نمونه‌برداری، شمار پنج گیاه متوالی که معادل ۰/۴۹ مترمربع برای ذرت و ۰/۲۸ مترمربع برای سورگوم بود برداشت شد و پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، سرعت رشد گیاه^۱ (CGR) از رابطه زیر محاسبه شد (Hunt, 1990).

$$CGR = (TDM_2 - TDM_1) / (T_2 - T_1) \times (1/GA)$$

CGR: سرعت رشد گیاه بر حسب گرم در مترمربع در روز، TDM^۲: ماده خشک تولیدشده بر حسب گرم در مترمربع، $T_2 - T_1$: زمان بین دو نمونه‌برداری بر حسب روز، GA: سطح زمین بر حسب مترمربع.

تجزیه داده‌ها

در این تحقیق به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت برای هر دو گیاه در طول فصل رشد، آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت اجرا شد، ولی برای تجزیه واریانس، نتایج هر گیاه جداگانه و به‌صورت اسپلیت پلات با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.2 مورد تجزیه قرار گرفت (تجزیه واریانس مرکب پس از انجام آزمون بارتلت انجام شد) و برای مقایسه میانگین‌ها در هر گیاه از آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار (LSD) و برای مقایسه دو گیاه با یکدیگر از آزمون t-test در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتیجه‌گیری و بحث

درخشندگی سبزینه

در هر دو گیاه تنش خشکی عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) و درخشندگی متغیر (F_v) را کاهش داد، افزون بر این در سورگوم درخشندگی بیشینه (F_m) تحت تأثیر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی کاهش درخشندگی بیشینه (F_m) در ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۲). کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II می‌تواند به دلیل تلفات انرژی ناشی از کاهش سرعت انتقال الکترون و یا آسیب نوری به مراکز واکنش نظام‌نوری II باشد (Baker

3. Quinon

1. Crop growth rate
2. Total dry matter

می‌رفت عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) این گیاه نسبت به ذرت بیشتر باشد، ولی نتیجه برعکس بود. بنابراین به نظر می‌رسد متفاوت بودن مرحله رشد دو گیاه در زمان اندازه‌گیری (سورگوم در مرحله دوازده برگی و ذرت در مرحله شیرینی شدن دانه) و موقعیت متفاوت برگ مورد اندازه‌گیری (برای ذرت برگ بلال و برای سورگوم چهارمین برگ توسعه‌یافته کامل از بالا) از عامل‌های دخیل باشند. در هر دو گیاه تأثیر تیمارهای ترکیبی کاربرد پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر درخشندگی متغیر و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری معنی‌دار بود. در سورگوم تیمار شاهد دارای کمترین عملکرد کوانتومی نظام‌نوری، تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت به همراه ۴/۵ تن پسماندها در هکتار دارای بیشترین میزان و دیگر تیمارها در گروه میانگین قرار گرفتند. در ذرت تیمار شاهد کمترین عملکرد کوانتومی نظام‌نوری، درخشندگی متغیر و درخشندگی بیشینه را داشت و دیگر تیمارها با قرار گرفتن در یک گروه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲).

(جدول ۵). بنابراین کاهش درخشندگی متغیر (F_v) تحت تنش خشکی در این بررسی را می‌توان ناشی از اکسیدشدن پذیرنده الکترون (Q) و اختلال در فرایند نقل و انتقال الکترون مربوط دانست. نتیجه این تحقیق با نتیجه Arji *et al.* (2008) که کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II، درخشندگی بیشینه و درخشندگی متغیر را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. در مقایسه بین دو گیاه، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m)، درخشندگی متغیر (F_v) و درخشندگی بیشینه (F_m) در ذرت بیشتر از سورگوم بود (جدول ۳). بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ارقام مختلف یک گونه تفاوت‌های ژنتیکی و واکنش‌های متفاوت فیزیولوژیک وجود دارد، بنابراین تفاوت در مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه بین دو گیاه در این بررسی را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت دو گونه و همچنین متفاوت بودن موقعیت برگ اندازه‌گیری شده و مرحله رشد دو گیاه در زمان نمونه‌برداری مربوط دانست. سورگوم به‌عنوان یکی از گیاهان مقاوم به خشکی مطرح بوده و انتظار

جدول ۲. میانگین دو سال مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه ذرت و سورگوم تحت تأثیر دو شرایط آبیاری و تیمارهای ترکیبی

پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب

عوامل آزمایشی	ذرت			سورگوم		
	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II F_v/F_m	درخشندگی متغیر F_v	درخشندگی اولیه F_0	درخشندگی درخشندگی نظام‌نوری II F_v/F_m	درخشندگی متغیر F_v	درخشندگی اولیه F_0
شرایط آبیاری						
آبیاری معمول	۰/۶۳a	۰/۱۵ a	۰/۰۸۵ a	۰/۲۳ a	۰/۰۹۱ a	۰/۰۸۷ a
تنش خشکی	۰/۵۶ b	۰/۱۲ b	۰/۰۸۸ a	۰/۲۱ a	۰/۰۶۹ b	۰/۰۸۷ a
تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و سوپرجاذب						
ZR	۰/۵۹۹ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۸ a	۰/۲۲ a	۰/۰۸۷ a	۰/۰۸۶ a
SR	۰/۰۶ a	۰/۱۳ a	۰/۰۸۳ a	۰/۲۱ ab	۰/۰۸۵ ab	۰/۰۸۵ a
ZSR	۰/۶۱۹ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۶ a	۰/۲۳ a	۰/۰۷۵ ab	۰/۰۸۸ a
R	۰/۰۶۲ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۸ a	۰/۲۳ a	۰/۰۸۴ ab	۰/۰۸۵ a
C	۰/۵۳۷ b	۰/۱ b	۰/۰۸۶ a	۰/۱۹ b	۰/۰۶۹ b	۰/۰۹۱ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بدون اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

ZR: ۴/۵ تن پسماندها + ۱۰ تن زئولیت در هکتار، SR: ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار

ZSR: ۴/۵ تن پسماندها + ۵ تن زئولیت + ۳۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار، R: ۴/۵ تن پسماندها در هکتار، C: تیمار شاهد

جدول ۳. مقایسه عملکرد علوفه، رطوبت خاک، شاخص سبزینه برگ و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه بین ذرت و سورگوم

نوع گیاه	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (F_v/F_m)	درخشندگی متغیر (F_v)	اولیه (F_0)	درخشندگی بیشینه (F_m)	شاخص سبزینه برگ	رطوبت خاک (درصد)	عملکرد تر علوفه ($t\ ha^{-1}$)
ذرت	۰/۰۶ a	۰/۱۳ a	۰/۰۸ a	۰/۲۲ a	۴۹/۳۵ a	۹/۸۲ a	۶۲/۸ a
سورگوم	۰/۰۴۷ b	۰/۰۸ b	۰/۰۸ a	۰/۱۶ b	۴۱/۵۷ b	۹/۵ a	۴۹/۳ b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه بدون اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون t-test در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

هکتار) در افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II را می‌توان به دیگر اثرگذاری‌های سودمند زئولیت در بهبود رشد گیاه مربوط دانست. زئولیت کانی آلومینوسیلیکاته‌ای است که علاوه بر افزایش رطوبت خاک، از طرق مختلف از جمله افزایش کارایی کودهای شیمیایی و آلی، جذب و آزاد نمودن عناصر غذایی متناسب با نیاز گیاه، تثبیت فلزات سنگین و بهبود شرایط تهویه‌ای خاک می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاه شود (Mumpton, 1999). نتیجه حاصل از این تحقیق در گیاه سورگوم، با نتیجه Mahdavi (2011) که افزایش نسبت F_m/F_v (عملکرد کوانتومی فتوسیستم) را در گیاه گلرنگ به واسطه کاربرد زئولیت گزارش نموده است مطابقت دارد.

نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمار پسماندها به‌تنهایی با تیمارهای زئولیت و سوپرچادب به همراه پسماندها را می‌توان به نقش مؤثر پسماندها در کاهش اثرگذاری‌های تنش خشکی و افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) مربوط دانست. با توجه به همبستگی مثبت بین محتوی رطوبت خاک با عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II، درخشندگی متغیر و درخشندگی بیشینه (جدول ۵) و نقش پسماندها در حفظ رطوبت بیشتر در خاک (جدول ۴)، به نظر می‌رسد پسماندهای موجود در سطح خاک توانسته با حفظ رطوبت خاک عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II را افزایش دهد. در این بررسی زئولیت در حضور پسماندها تأثیری بر افزایش رطوبت ذخیره‌شده در خاک نداشت (جدول ۴). بنابراین تأثیر زئولیت (۱۰ تن در

جدول ۴. میانگین دو سال عملکرد علوفه، رطوبت خاک و شاخص سبزینه برگ ذرت و سورگوم تحت تأثیر دو شرایط آبیاری و تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرچادب

عامل آزمایشی	سورگوم		ذرت	
	شاخص سبزینه برگ	رطوبت خاک (درصد)	عملکرد تر علوفه ($t\ ha^{-1}$)	رطوبت خاک (درصد)
<u>شرایط آبیاری</u>				
آبیاری معمول	۴۱/۹۴ a	۱۱/۰۷ a	۵۷/۶۵ a	۱۱/۴ a
تنش خشکی	۴۱/۲ a	۷/۹۴ b	۴۱/۱۲ b	۸/۲۴ b
<u>تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و سوپرچادب</u>				
ZR	۴۱/۷۶ a	۹/۷۹ a	۵۶/۰۴ a	۱۰/۰۶ a
SR	۴۱/۳۸ a	۹/۳۳ ab	۴۶/۴ bc	۹/۷۸ a
ZSR	۴۱/۳۲ a	۹/۶۷ a	۵۱/۹ ab	۱۰/۱۷ a
R	۴۱/۶۷ a	۹/۶۸ a	۴۸/۳ bc	۱۰/۱۵ a
C	۴۱/۷۴ a	۹/۰۴ b	۴۴/۲ c	۸/۹۵ b

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون بدون اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

ZR: ۴/۵ تن پسماندها + ۱۰ تن زئولیت در هکتار، SR: ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرچادب در هکتار

ZSR: ۴/۵ تن پسماندها + ۵ تن زئولیت + ۳۰ کیلوگرم سوپرچادب در هکتار، R: ۴/۵ تن پسماندها در هکتار، C: تیمار شاهد.

گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش داد، ولی کاهش این صفت در سورگوم تحت تنش خشکی معنی‌دار نبود

شاخص سبزینه برگ
تنش خشکی شاخص سبزینه برگ (SPAD Index) را در

مراحل رشد دو گیاه در زمان اندازه‌گیری سبزینه مربوط دانست. تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر شاخص سبزینه برگ در گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری نداشتند و تمام تیمارها در یک گروه قرار گرفتند، اما در گیاه ذرت تأثیر تیمارهای یادشده بر این صفت معنی‌دار بود به طوری که تیمار شاهد دارای کمترین شاخص سبزینه برگ و دیگر تیمارها با دارا بودن میزان بیشتر در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴). در گیاه ذرت کاهش شاخص سبزینه برگ در تیمار شاهد و نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمار کاربرد پسماندها به تنهایی با تیمارهای کاربرد زئولیت و سوپرجاذب به همراه پسماندها را می‌توان به نقش مثبت پسماندها در افزایش این صفت مربوط دانست. با توجه به رطوبت بیشتر خاک در تیمار پسماندهای گیاهی (جدول ۴) می‌توان اظهار کرد که پسماندهای موجود در سطح خاک از طریق حفظ رطوبت خاک، بهبود نورساخت گیاه و جلوگیری از تنش اکسایشی از کاهش میزان سبزینه برگ در گیاه ذرت جلوگیری کرده‌است. در تحقیقات گذشته افزایش شاخص سبزینه برگ به واسطه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب (Mao et al., 2011) و ۵ تن در هکتار زئولیت (Mahdavi et al., 2011) گزارش شده است، درحالی‌که براساس نتایج این تحقیق پلیمر سوپرجاذب و زئولیت تأثیر معنی‌داری بر شاخص سبزینه برگ نداشتند، بنابراین به نظر می‌رسد تأثیر مثبت این مواد در بهبود شاخص سبزینه برگ ذرت احتمال دارد به دلیل کاربرد این مواد در حضور پسماندها، توسط پسماندها خنثی شده‌است.

(جدول ۴). سورگوم به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی مطرح بوده، لذا می‌توان بیان کرد که این گیاه در شرایط تنش خشکی با سازوکارهای مقاومت به خشکی که دارد، توانسته با جذب آب بیشتر از خاک و کاهش هدررفت تعرق از کاهش معنی‌دار سبزینه برگ در شرایط تنش جلوگیری کند. کاهش شاخص سبزینه برگ تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل محدودیت عرضه نیتروژن و آب و کاهش ساخت سبزینه (Lauer & Boyer, 1992) و یا به واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو باشد که اکسیدشدن نوری رنگدانه‌ها و تجزیه سبزینه را در پی دارد (Sairam & Srivastava, 2002). با توجه به همبستگی مثبت رطوبت خاک با شاخص سبزینه برگ در گیاه ذرت (جدول ۵) کاهش سبزینه برگ در این گیاه تحت تنش خشکی را می‌توان بیشتر به کمبود رطوبت قابل استفاده خاک مربوط دانست به‌گونه‌ای که تنش کم‌آبی با اختلال در فرایند نورساخت کاهش این صفت را منجر شده‌است. نتایج همانندی در ارتباط با کاهش محتوی سبزینه برگ تحت تنش خشکی در پنبه (Massacci et al., 2008) و گندم (Paknejad et al., 2007) گزارش شده‌است. در مقایسه بین دو گیاه، شاخص سبزینه برگ ذرت نسبت به سورگوم به میزان ۱۵/۷۶ درصد بیشتر بود (جدول ۳). بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ارقام مختلف یک گونه تفاوت‌های زیادی از لحاظ تغییرات یک صفت وجود دارد، بنابراین برتری ذرت نسبت به سورگوم از لحاظ این صفت را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت دو گونه و متفاوت بودن

جدول ۵. ضریب‌های همبستگی ساده صفات مورد بررسی برای هر گیاه به صورت جداگانه (ذرت سمت راست و سورگوم سمت چپ)

صفات سورگوم	درخشندگی			درخشندگی		عملکرد کوانتومی		عملکرد	
	بیشینه (Fm)	اولیه (F0)	متغیر (Fv)	نظام نوری (II Fv/Fm)	شاخص سبزینه برگ	رطوبت خاک	تر علوفه	۱	۲
۱	۰/۴۱*	-۰/۰۸	۰/۵۸**	۰/۵۷**	۰/۳۵	۰/۸۷**	۱	۱	۱
۲	۰/۴۷*	-۰/۱۹	۰/۶۳**	۰/۶۷**	۰/۳۹	۰/۷۵**	۱	۰/۷۵**	۲
۳	-۰/۰۸	-۰/۵۱*	۰/۲	۰/۴۴*	۱	۰/۴۳*	۱	۰/۴۳*	۳
۴	۰/۵۱*	۰/۳۵	۰/۸۴**	۱	۰/۶۳**	۰/۶۹**	۰/۶۳**	۰/۶۹**	۴
۵	۰/۸۷**	۰/۱۶	۱	۰/۸۹**	۰/۳۷	۰/۶۹**	۰/۷**	۰/۶۹**	۵
۶	۰/۶**	۱	-۰/۰۶	-۰/۴۶*	-۰/۷۱**	-۰/۰۸	-۰/۱۶	-۰/۰۸	۶
۷	۱	۰/۲۵	۰/۹۶**	۰/۷۴**	۰/۱۹	۰/۶۶**	۰/۶۷**	۰/۶۶**	۷

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

رطوبت خاک

در هر دو گیاه، تیمار آبیاری معمول در نیم‌رخ ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک دارای رطوبت بیشتری در مقایسه با تیمار تنش بود (جدول ۴). رطوبت بیشتر خاک در تیمار آبیاری معمول به دلیل دور آبیاری کمتر (آبیاری براساس ۷۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از طشت تبخیر) در مقایسه با تیمار تنش کم‌آبی (آبیاری براساس ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از طشت تبخیر) قابل توجه خواهد بود. بین دو گیاه مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد رطوبت خاک تحت کشت نبود، ولی رطوبت خاک تحت کشت سورگوم، اندکی کمتر از ذرت بود (جدول ۴). سورگوم به دلیل نظام ریشه‌ای گسترده و توان مکش بیشتر می‌تواند رطوبت خاک را با توان بیشتری تخلیه کرده و موفق‌تر از ذرت عمل کند (Jiang et al., 2001). تأثیر تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر میزان رطوبت خاک معنی‌دار بود، به طوری که در هر دو گیاه کمترین رطوبت خاک به تیمار شاهد تعلق داشت و بین دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). حفظ رطوبت خاک به واسطه وجود پسماندها در سطح خاک توسط دیگر محققان گزارش شده است (Wicks et al., 1994). همچنین افزایش و حفظ رطوبت خاک به واسطه کاربرد زئولیت و پلیمر سوپرجاذب در خاک نیز در بررسی‌های چندی بیان شده است (Polat et al., 2004; Mao et al., 2011). در این بررسی توانایی جذب آب پلیمر سوپرجاذب نود برابر و زئولیت مصرف شده پنجاه و پنج برابر وزن خود در شرایط آزمایشگاه بود، لذا به نظر می‌رسد به دلیل وجود پسماندها که تأثیر معنی‌داری در حفظ رطوبت خاک داشته است، تأثیر پلیمر سوپرجاذب و زئولیت با این میزان جذب رطوبت که به طور قطع در شرایط خاک نیز کمتر بوده خنثی شده است.

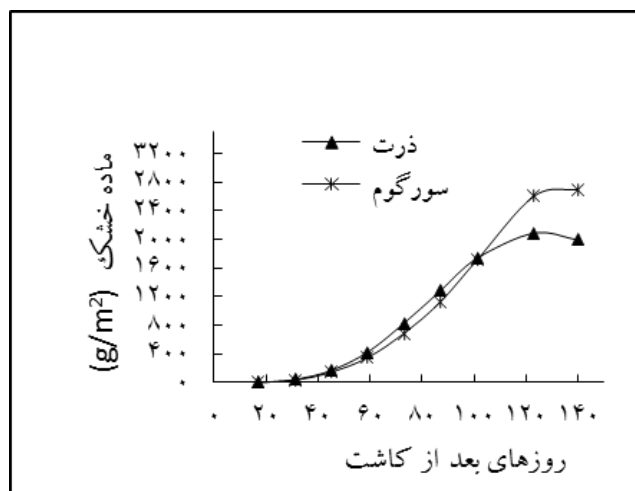
عملکرد علوفه

در مقایسه عملکرد علوفه دو گیاه، ذرت به میزان ۱۳/۵ تن در هکتار نسبت به سورگوم برتری داشت (جدول ۳). برتری عملکرد علوفه ذرت نسبت به سورگوم (چین اول) را می‌توان به سرعت رشد و تولید ماده خشک بیشتر ذرت در واحد سطح در نود روز اول فصل رشد

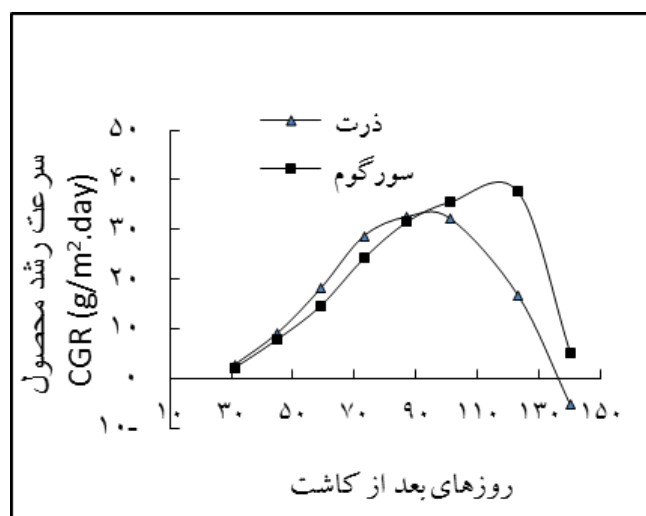
مربوط دانست (شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به نمودارهای بالا ملاحظه می‌شود که ذرت از آغاز فصل تا هنگام برداشت علوفه (نود روز پس از کاشت) به‌رغم تراکم کاشت کمتر، سرعت رشد و تولید ماده خشک بیشتری نسبت به سورگوم داشته است. نتیجه این بررسی با یافته‌های (Khalessro et al., 2010) که برتری عملکرد علوفه خشک ذرت نسبت به سورگوم را گزارش کرده‌اند همخوانی دارد. در این بررسی آزمایش در شرایط کشت دوم انجام شد و به دلیل کاهش دمای محیط پس از برداشت چین اول سورگوم، سرمازدگی آخر فصل و همچنین جلوگیری از تأخیر کاشت برای گندم پاییزه، امکان برداشت اقتصادی برای چین دوم سورگوم وجود نداشت، لذا عملکرد علوفه ذرت با یک چین سورگوم مورد مقایسه قرار گرفت. تحت تنش خشکی عملکرد علوفه هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دو گیاه مورد بررسی با رطوبت خاک و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (جدول ۵) می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش خشکی به دلیل کمبود رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک و اختلال در مسیر نقل و انتقال الکترون، گیاه قادر به استفاده مطلوب از انرژی و بستره (سویسترا) نبوده و در نتیجه عملکرد کاهش یافته است. در بررسی‌های دیگران نیز کاهش عملکرد علوفه ذرت و سورگوم تحت تنش خشکی بیان شده است (Sepehri et al., 2012; Naseri et al., 2002). تأثیر تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد علوفه در هر دو گیاه معنی‌دار بود (جدول ۴). در سورگوم تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار در حضور پسماندها و تیمار شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد علوفه را داشتند و دیگر تیمارها حد وسط تیمارهای فوق قرار گرفتند. در ذرت تیمار شاهد کمترین عملکرد علوفه را تولید کرد، ولی بین دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری نبود. در بررسی یادشده بین تیمار کاربرد سوپرجاذب در حضور پسماندها در مقایسه با تیمار کاربرد پسماندها به تنهایی تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۴). با توجه به نتایج، می‌توان به تأثیر مثبت پسماندها بدون حضور زئولیت و سوپرجاذب، نقش سودمند زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط دانست (Mumpton, 1999; Polat, *et al.*, 2004). نتایج همانندی در زمینه افزایش عملکرد علوفه ذرت و سورگوم به واسطه کاربرد ژئولیت گزارش شده است (Naseri *et al.*, 2012; Bernardi *et al.*, 2011). در تحقیقی افزایش عملکرد علوفه سورگوم به واسطه کاربرد پلیمر سوپرجاذب گزارش شده است (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012)، اما در این بررسی تأثیر نداشتن پلیمر سوپرجاذب در افزایش عملکرد علوفه را می‌توان به ظرفیت محدود جذب رطوبت خاک توسط پلیمر سوپرجاذب، میزان پلیمر سوپرجاذب مصرف‌شده و کاربرد این ماده در حضور پسماندها مربوط دانست به‌گونه‌ای که پسماندها توانسته با حفظ مطلوب رطوبت خاک تأثیر پلیمر سوپرجاذب را خنثی کند.

حضور پسماندها و همچنین بی‌تأثیر بودن پلیمر سوپرجاذب در حضور پسماندها در افزایش عملکرد علوفه اذعان کرد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار رطوبت خاک و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II با عملکرد علوفه (جدول ۴) و تأثیر معنی‌دار تیمار پسماندها در حفظ رطوبت بیشتر خاک و همچنین افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (جدول‌های ۲ و ۴) می‌توان بیان کرد که حفظ پسماندهای گیاهی با افزایش و بهبود صفات یادشده توانسته عملکرد علوفه را افزایش دهد. افزایش عملکرد علوفه به واسطه کاربرد ژئولیت در حضور پسماندها را می‌توان به اثرگذاری‌های سودمند این کانی در افزایش بازده استفاده از مواد آلی و کودهای شیمیایی، جلوگیری از جذب عناصر سنگین و سمی توسط گیاه و بهبود



شکل ۱. تغییرات تجمع ماده خشک در ذرت و سورگوم در طول فصل رشد



شکل ۲. تغییرات سرعت رشد ذرت و سورگوم (CGR) در طول فصل رشد

نتیجه‌گیری

۶/۲ تن علوفه تولید شده به واسطه کاربرد زئولیت بر اساس قیمت علوفه ذرت در سال ۱۳۹۲ (۱۵۰۰ ریال برای هر کیلوگرم) معادل ۹/۳ میلیون ریال بوده‌است که کاربرد این کانی را از لحاظ اقتصادی توجیه می‌نماید. علاوه بر این با یک‌بار مصرف زئولیت در خاک می‌توان شاهد اثرگذاری‌های سودمند این کانی بر رشد گیاه و بهبود ویژگی‌های خاک برای چندین سال بود، ضمن اینکه در ایران معادن غنی از زئولیت طبیعی وجود دارد که بیشتر آنها بدون استفاده مانده‌اند، در حالی که مصرف این کانی در اراضی کشاورزی می‌تواند بسیار سودمند باشد. در نود روز اول فصل رشد، ذرت به دلیل سرعت رشد و تولید ماده خشک بیشتر نسبت به سورگوم علوفه بیشتری تولید کرد لذا سورگوم به دلیل کوتاه بودن فصل رشد در شرایط کشت دوم منطقه معتدل کرمان و عملکرد علوفه کمتر نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای کشت ذرت باشد.

بر اساس نتایج این بررسی تنش خشکی در هر دو گیاه با کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (F_v/F_m) و درخشندگی متغیر (F_v) در سامانه نوساختی گیاه اختلال ایجاد کرده و علوفه تر هر دو گیاه را کاهش داده است، بنابراین استفاده از این مؤلفه‌ها برای ارزیابی شدت تنش در گیاهان می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. با توجه به تأثیر سودمند و معنی‌دار کاربرد پسماندها (۴/۵ تن در هکتار) و زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در افزایش عملکرد علوفه و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه، کاربرد این مواد برای کشت دوم و در شرایط کمینه خاک‌ورزی توصیه می‌شود. قیمت ۱۰ تن زئولیت طبیعی از نوع کلینوپتیلولیت با احتساب ۶۰۰ ریال برای هر کیلوگرم (قیمت سال ۱۳۹۲) هزینه‌ای معادل ۶ میلیون ریال خواهد داشت، در حالی که ارزش ربالی

REFERENCES

1. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. & Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 177-185.
2. Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H. & Nachit, M. M. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55, 209-223.
3. Arji, I. & Arzani, K. (2008). Effect of water stress on some biochemical changes in leaf of five olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Acta Horticulturae*, 791, 523-526.
4. Baker, N.R. & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
5. Bernardi, A. C. C., Souza, G.B.D., Polidoro, J.C., Paiva, P.R.P. & Mello, M.B.D. (2011). Yield, quality components, and nitrogen levels of silage maize fertilized with urea and zeolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 1-10.
6. Bilger, W., Schreiber, U. & Bock, M. (1995). Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102(4), 425-432.
7. Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M. & Farokhzadeh Khoei, R. (2012). Effect of superab A200 and drought stress on dry matter yield in forage sorghum. *American -Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12 (2), 231-236.
8. Fotouhi, K., Ahmdaly, J., Noorjo, A., Pedram, A. & Khorshid, A. (2008). Irrigation management under water discharge permit at the different stages of sugar beet grown in Miandoab region. *Journal of Sugar Beet*, 24 (1), 43-60 (in Farsi).
9. Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. London: Unwin Hyman.
10. Jiang, Y. & Huang, B. (2001). Osmotic adjustment and root growth associated with drought pre-conditioning enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 41, 1168-1173.
11. Khalesro, S., Aghaalikhani, M. & Moddares Sanavy, S.A.M. (2010). Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of forage maize, pearl millet and sorghum in double-cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(6), 930-938. (In Farsi)
12. Lauer, M. J. & Boyer, J. S. (1992). Internal CO₂ measures directly in leaves: ABA and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiology*, 98, 1010-1016.
13. Lu, Q., Lu, C., Zhang, J. & Kuang, T. (2002). Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. *Journal of Plant Physiology*, 159, 1173-1178.

14. Mahdavi, B. (2011). *Evaluate the interaction of Chitosan and zeolite on phenology and yield of Safflower (Carthamus tinctorius L.) under water stress*. Ph. D. dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Farsi)
15. Mao, S., Islam, M.R., Hu, Y., Qian, X., Chen, F. & Xue., X. (2011). Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in Maize (*Zea mays* L.) following soil application of super absorbent polymer at different fertilizer regimes. *African Journal of Biotechnology*, 10 (49), 1000-1008.
16. Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S.K., Chernikova, T.N., Thor, K. & Leipner, J. (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46, 189-195.
17. Mumpton, F. A. (1999). Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 96, 3463-3470.
18. Naseri, M., Khalatbari, M. & Paknejad, F. (2012). Evaluate the effect of different ranges Zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench) Var. Kimiya under water deficit stress. *Annals of Biological Research*, 3 (7), 3547-3550.
19. Nazari, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. & Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. *Nodulescentia Biologicae*, 2(4), 53-58.
20. Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A. & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5 (4), 162-169.
21. Polat, E., Karaca, M., Demir, H. & Naci Onus, A. (2004). Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183-189.
22. Sairam, R.K. & Siravastava, G.C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Journal of Plant Science*, 162, 897-907.
23. Sepehri, A., Moddares Sanavy, S.A.M., Gherehyazy, B. & Yamini, Y. (2002). Effect of Water Stress and Nitrogen Fertilizer on growth and development stages, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3 (4), 184-20 (In Farsi).
24. Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Panneerselvam, R. & Shao, M.A. (2009). Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the Eco environment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29, 131-151.
25. Tolstikh, L. I., Akimov, N. I., Golubeva, I. A. & Shvetsov, I. A. (1992). Degradation and stabilization of polyacrylamide in polymer flooding conditions. *International Journal of Polymeric*, 17, 177-193.
26. Wicks, G. A., Crutchfield, D. A. & Burnside, O. C. (1994). Influence of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw mulch and metolachlor on corn (*Zea mays* L.) growth and yield. *Weed Science*, 42, 141-147.